

the causes of fish death in order to anticipate and prevent the emergencies on water. The article shows that the main causes of mass fish death are the increase of average temperature and water pollution. The analysis of the temperature dynamics in Kharkiv region showed that the last 60 years saw the tendency of increase of average annual temperatures that affected the hydrochemical and hydrological conditions of reservoirs. The analysis of the condition of the Loppan' river basin based on the identification of potential risk to public health in the period from 1924 to 2010 showed that the river had been in dangerous condition and required immediate implementation of environmental protection measures. To predict the condition of the Loppan' river basin, the method of double exponential smoothing (Holt's method) was used. The results of the studies are necessary to develop the conservation programs to improve the ecological state of Kharkiv region and to minimize the cases of mass fish deaths.

**Keywords:** mass fish death, environmental change, water, risk to public health, Holt's method

УДК 532.63

## МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ФІЛЬТРУВАННЯ З ВИКОРИСТАННЯМ МАТЕРІАЛІВ З КАПІЛЯРНИМИ ВЛАСТИВОСТЯМИ

Запропоновано модель фільтрування з використанням матеріалів з капілярними властивостями. Розраховано допустимий перепад рівнів рідини з різних кінців капілярного фільтру для забезпечення його тривалої ефективної роботи. Отримані залежності дозволяють розраховувати основні параметри капілярного фільтру при заданих характеристиках рідини та властивостях твердих часток

**Ключові слова:** зневоднення, капіляр, математична модель, тверді частки, розділення фаз

Предложена модель фильтрации с использованием материалов с капиллярными свойствами. Рассчитан допустимый перепад уровней жидкости с разных концов капиллярного фильтра для обеспечения его продолжительной эффективной работы. Полученные зависимости позволяют рассчитывать основные параметры капиллярного фильтра при заданных характеристиках жидкости и свойствах твердых частиц

**Ключевые слова:** обезвоживание, капилляр, математическая модель, твердые частицы, разделение фаз

**Я. В. Радовенчик**  
Асистент\*

Контактний тел.: 093-697-62-71  
E-mail: m.gomelya@kpi.ua

**А. О. Костриця**  
Студент

Кафедра екології  
Національний університет «Києво-Могилянська Академія»  
вул. Г. Сковороди, 2, м. Київ, 04655  
Контактний тел.: 097-568-21-56  
E-mail: kostritsia@gmail.com

**В. М. Радовенчик**  
Доктор технічних наук, доцент\*  
Контактний тел.: 050-386-27-81  
E-mail: dokeco@ukr.net

**Л. В. Сіренко**  
Кандидат технічних наук, доцент\*  
Контактний тел.: 066-705-60-26  
E-mail: m.gomelya@kpi.ua

\*Кафедра екології та технології рослинних полімерів  
Національний технічний університет України «Київський  
політехнічний інститут»  
пр. Перемоги, 37, м. Київ, Україна, 03056

## 1. Вступ

Сучасний стан гідросфери викликає все більше занепокоєння людського суспільства, а локальні та регіональні проблеми забезпечення якісною питною водою стимулюють інтенсивні пошуки в галузі водопідготовки та очищення стічних вод. Характерною особливістю природних вод є наявність домішок у вигляді твердих частинок різноманітного походження. Крім цього, значна частина технологій очищення води базується на переводі розчинних забруднень в тверду фазу та відділення їх від рідкої. Процеси розділення рідкої та твердої фаз широко використовується практично у всіх галузях народного господарства. Тому наукові дослідження та нові розробки в даній галузі завжди актуальні та користуються попитом у виробників.

## 2. Огляд літератури і постановка проблеми

Існуючі сьогодні традиційні процеси розділення твердої та рідкої фаз базуються на використанні складного обладнання, вакууму чи надлишкового тиску, мають значну матеріально-енергоємність. Нетрадиційним напрямком в даній галузі можна вважати використання в процесах фільтрування матеріалів з капілярними властивостями. Проведені на сьогодні дослідження [1,2,3] показують досить високу ефективність такого процесу розділення фаз при мінімальних матеріальних затратах та повній відсутності енергетичних затрат.

Розроблено кілька варіантів обладнання для реалізації процесу. Результати проведених досліджень підтверджують високу ефективність методу та його перспективність.

## 3. Мета та задачі дослідження

Оскільки в теоретичному плані вказані процеси розроблені ще недостатньо, виникає необхідність ув'язки різноманітних параметрів для реалізації нових технологій фільтрування в промислових масштабах. Основною метою проведених досліджень було визначення основних параметрів фільтрів із матеріалів з капілярними властивостями та умов їх ефективної роботи.

## 4. Виклад основного матеріалу

Суть процесу фільтрування з використанням матеріалів з капілярними властивостями полягає у наступному. В посудині із суспензією відомого складу (1) розміщується джгут матеріалу з капілярними властивостями (2), котрий і виконує роль фільтру (рис. 1). Один кінець фільтру занурюється в суспензію, інший виводиться за межі посудини. Під дією сили поверхневого натягу рідини вона піднімається по капілярах фільтру і завдяки різниці рівнів рідкої фази на кінцях фільтру скапує в іншу посудину. Матеріал фільтру вибирається в залежності від властивостей рідкої та твердої фаз.

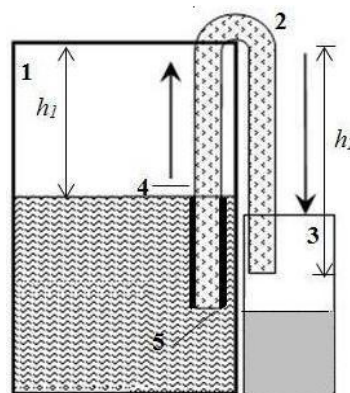


Рис. 1. Принцип фільтрування з використанням матеріалів з капілярними властивостями.

В найпростішому випадку можна представити, що відділення твердої фази відбувається за рахунок затримки твердих часток на порах фільтру. Якщо розглянути поперечний переріз фільтру, то при щільній ідеалізованій упаковці він представлятиме собою ряд кругів (капілярів), що контактують між собою (рис. 2). Така впорядкована структура може мати і іншу будову. Про найбільш поширені типи таких структур можна дізнатися в [4]. В даній публікації ми обмежимося лише розглядом структури, представленої на рис. 2.

Таким чином, на фільтрі будуть затримуватись тверді частинки, радіус котрих ( $r$ ) більше радіусу капілярів ( $R$ ), тобто, виконується умова:

$$r > R.$$

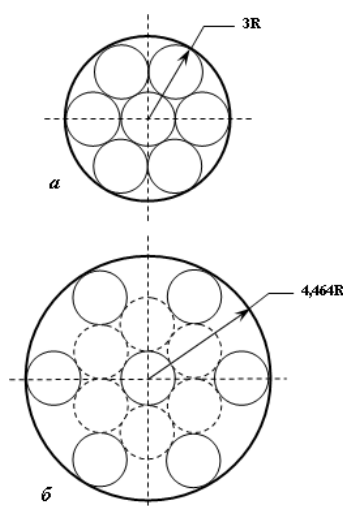


Рис. 2. Поперечний переріз фільтру (а) та форма міжпорового простору (б)

Попередніми дослідженнями [5] було встановлено, що швидкість фільтрування води суттєво знижується при збільшенні щільності порового простору. В даному випадку, без зниження ефективності фільтрування проміжки між окремими капілярами можуть бути значно збільшені, що дозволить підвищити продуктивність фільтрування. Очевидно, що найбільш оптимальним можна вважати варіант, коли в проміжки між окремими капілярами структури на рис. 2а будуть

встановлені уявні капіляри такого ж розміру (рис. 2б). Прості математичні розрахунки показують, що якщо радіус фільтру при щільній структурі складає  $3R$ , то при реалізації запропонованої структури він сягатиме  $4.464R$  із відповідним збільшенням площі фільтрування у 2.214 рази. Таким чином, приблизно в стільки ж разів збільшиться і продуктивність фільтра. При цьому ефективність фільтра буде збережена, оскільки розміри пор поза капілярами не перевищують розміру самих капілярів.

Очевидно, що процес фільтрування може тривати досить довго без зниження продуктивності лише у випадку, коли тверді частки не будуть локалізуватися на поверхні фільтру. Нехай фільтр представляє собою конструкцію із матеріалу з капілярними властивостями, розміщену у спеціальній пластиковій оболонці (4) (рис. 1). Тоді відбір рідкої фази із суспензії буде відбуватися лише через нижню частину фільтру вертикально вгору.

Припустимо також, що на підході до фільтру та в об'ємі самого фільтру швидкість рідкої фази буде однакою. Якщо розглянути сили, що будуть діяти на тверду частку у вигляді кульки в такому потоці рідкої фази, то можна виділити три основні (рис. 3):

- $F_c$  - сила опору рідини, що рухається, або сила Стокса, направлена вгору;
- $F_t$  - сила земного тяжіння, що направлена вниз;
- $F_b$  - сила Архімеда, або виштовхуюча сила, що направлена вертикально вгору.

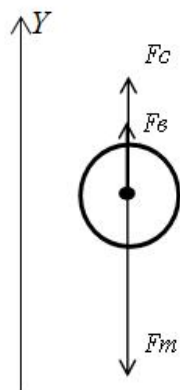


Рис. 3. Сили, що діють на тверду частку суспензії

Оскільки мова йде про ламінарний рух при швидкостях на рівні кількох десятків метрів за годину, то сили опору в капілярному середовищі можна знехтувати, зважаючи на їх мізерні значення.

Очевидно, що тривале збереження початкової продуктивності фільтру можливе у випадку, коли тверда частка зависає в рідкій фазі на підході до торця (5), (рис. 1). Такий варіант можливий лише тоді, коли сума всіх сил на вісь  $Y$  буде дорівнювати 0, тобто:

$$F_t = m \times g = V \times \rho \times g, \quad (1)$$

де  $\rho$  – щільність матеріалу частки;  $V$  - її об'єм;  $g$  – прискорення вільного падіння.

Припускаючи, що частка має форму ідеальної кулі з радіусом  $r$ , розрахуємо її об'єм за формулою

$$V = \frac{4}{3} \times \pi \times r^3. \quad (2)$$

Підставляючи формулу (2) у формулу (1) отримуємо:

$$F_t = \frac{4}{3} \times \pi \times r^3 \times \rho \times g.$$

Сила Архімеда запишеться у вигляді

$$F_b = \frac{4}{3} \times \pi \times r^3 \times \rho_p \times g, \text{ де } \rho_p - \text{щільність рідкої фази.}$$

Для сили Стокса аналогічна залежність може бути представлена у вигляді  $F_c = 6 \times \pi \times r \times \mu \times v$ , де  $\mu$  – коефіцієнт динамічної в'язкості рідкої фази,  $v$  - швидкість рідкої фази, що омине тверду частку.

Проектуючи описані сили на вісь  $Y$  та прирівнюючи їх до 0 отримуємо:

$$\frac{4}{3} \times \pi \times r^3 \times \rho_p \times g - \frac{4}{3} \times \pi \times r^3 \times \rho \times g + 6 \times \pi \times r \times \mu \times v = 0$$

Звідки,

$$v = \frac{2}{9} \times \frac{r^2 \times g \times (\rho - \rho_p)}{\mu}. \quad (3)$$

Таким чином, для забезпечення тривалої ефективної роботи фільтру без зниження продуктивності достатньо, щоб швидкість руху рідкої фази в порах не перевищувала розрахованої у відповідності із залежністю (3).

Як було показано в [3], швидкість руху рідкої фази в елементарному капілярі описується залежністю:

$$v_k = \frac{\Delta p \times r^2}{4 \times \mu \times l}, \quad (4)$$

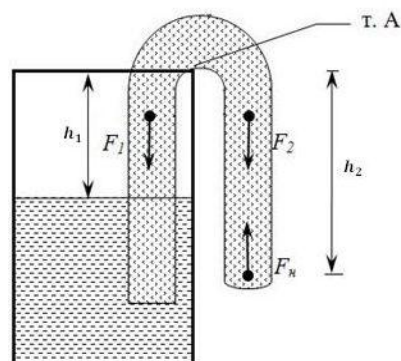


Рис.4. Схема до розрахунку основних параметрів транспортування рідини елементарним капіляром, де  $\Delta p$  різниця тисків в початковій та кінцевій точках,  $r$  - радіус капіляра,  $l$  - довжина капіляра

З практичної точки зору найпростішу систему транспортування води елементарним капіляром можна представити у вигляді перевернутої  $U$  - подібної конструкції, одна гілка якої виводиться за межі посудини (рис.4).

Характерним в цьому випадку буде розподіл сил в елементарному капілярі, заповненому рідиною. Якщо сумарна довжина капіляра ( $h + h_l$ ) менша висоти підйому рідини у вертикальному капілярі такого ж діаметру, то, на нашу думку, сили поверхневого натягу будуть протидіяти витіканню рідини за його межі. Розглянувши величину різниці тисків в обох гілках капіляра (т. А на рис. 4), можемо записати, що для лівої гілки в т. А буде створюватися вакуум величиною

$$P_1 = \frac{F_1}{S} = \frac{\pi \times r^2 \times h_1 \times \rho \times g}{\pi \times r^2} = h_1 \times \rho \times g.$$

Для правої гілки при її повному заповненні водою можна записати:

$$P_2 = \frac{F_2 - F_H}{S} = \frac{\pi \times r^2 \times h_2 \times \rho \times g - 2 \times \pi \times r \times \sigma \times \cos \theta}{\pi \times r^2} = \frac{r \times h_2 \times \rho \times g - 2 \times \sigma \times \cos \theta}{r}.$$

Очевидно, що для перетікання рідини з лівої гілки в праву вакуум, котрий створюється в т. А балансом сил в правій гілці, повинен бути більше відповідного вакууму, що створюється балансом сил в лівій гілці. Значення різниці тисків можна записати наступним чином:

$$\begin{aligned} \Delta P_a = P_2 - P_1 &= \frac{r \times h_2 \times \rho \times g - 2 \times \sigma \times \cos \theta}{r} - h_1 \times \rho \times g = \\ &= \frac{(r \times h_2 \times \rho \times g - r \times h_1 \times \rho \times g) - 2 \times \sigma \times \cos \theta}{r} = \\ &= \rho \times g \times (h_2 - h_1) - \frac{2 \times \sigma \times \cos \theta}{r} \end{aligned} \quad (5)$$

Таким чином, аналізуючи отриману залежність, можна зауважити, що при такій конструкції капілярного фільтру для забезпечення перетікання рідини за межі посудини необхідно додатково компенсувати дію сил поверхневого натягу. Тому в даному випадку різниця рівнів води в обох гілках повинна бути значно більшою, ніж у випадку двох вертикальних капілярів. Необхідна величина цієї різниці може бути визначена по залежності (5).

Підставляючи у формулу для швидкості води у капілярі (4) значення різниці тисків отримаємо:

$$\begin{aligned} v_k &= \frac{[\rho \times g \times (h_2 - h_1) - \frac{2 \times \sigma \times \cos \theta}{r}] \times r^2}{4 \times \mu \times l} = \\ &= \frac{\rho \times g \times (h_2 - h_1) \times r^2 - 2 \times \sigma \times \cos \theta \times r}{4 \times \mu \times l} \end{aligned} \quad (6)$$

З іншого боку швидкість води в капілярі не повинна перевищувати швидкості води на підході до капілярного фільтру (3). Прирівнявши обидва вирази, зможемо визначити величину  $\Delta h = h_2 - h_1$ , яка є визначальною в розрахунку швидкості при інших постійних параметрах капілярного фільтру. Таким чином

$$\frac{\rho \times g \times \Delta h \times r^2 - 2 \times \sigma \times \cos \theta \times r}{4 \times \mu \times l} = \frac{2}{9} \times \frac{r^2 \times g \times (\rho - \rho_p)}{\mu}.$$

Після скорочення на  $r$  та  $\mu$  отримаємо:

$$\frac{\rho \times g \times \Delta h \times r}{4 \times l} - \frac{2 \times \sigma \times \cos \theta}{4 \times l} = \frac{2}{9} \times r \times g \times (\rho - \rho_p);$$

$$\frac{\rho \times g \times \Delta h \times r}{4 \times l} = \frac{2}{9} \times r \times g \times (\rho - \rho_p) + \frac{2 \times \sigma \times \cos \theta}{4 \times l};$$

$$\rho \times g \times \Delta h \times r = \frac{8}{9} \times r \times g \times (\rho - \rho_p) \times l + 2 \times \sigma \times \cos \theta;$$

$$\Delta h = \frac{8}{9} \times \frac{(\rho - \rho_p) \times l}{\rho} + \frac{2 \times \sigma \times \cos \theta}{\rho \times g \times r}.$$

Оскільки  $h_1 + \Delta h = h_2$ , а  $l = h_1 + h_2 = h_1 + h_1 + \Delta h = 2h_1 + \Delta h$ , то використовуючи отримані залежності, можна розрахувати практичні параметри капілярного фільтру, при котрих забезпечуватиметься ефективна тривала робота фільтру без зниження продуктивності.

## 5. Висновки

Проведені із умови зависання твердої частки на підході до торця капіляра розрахунки дозволили отримати залежності, що зв'язують між собою параметри рідкої та твердої фаз і параметри матеріалів з капілярними властивостями. Отримані залежності дозволяють розраховувати фільтри з матеріалів з капілярними властивостями та розробляти високоефективне обладнання для розділення фаз.

## Література

1. Радовенчик, Я. В. Очищення води з використанням матеріалів з капілярними властивостями / Я. В. Радовенчик, М. Д. Гомеля // Хімічна інженерія, екологія та ресурсозбереження. - 2009. - №2. - С. 37 - 39.
2. Радовенчик, Я. В. Обезвоживание осадков ферроцианидов железа / Я. В. Радовенчик, В. С. Котлярова // Энерготехнологии и ресурсосбережение. - 2011. - №5. - С. 32-35.
3. Радовенчик, Я. В. Обезвоживание суспензий капиллярными материалами / Я. В. Радовенчик, Н. Д. Гомеля // Матер. II Междунар. науч. - практ. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых "Проблемы безопасности жизнедеятельности и промышленной экологии", Ульяновск. - 2009. - С. 126 - 130.
4. Сандуляк, А. В. Очистка жидкостей в магнитном поле. - Львов : Вища школа. Изд-во при Львов. Ун-те, 1984. - 16 с.
5. Радовенчик, Я. В. Наукові засади очищення води матеріалами з капілярними властивостями / Я. В. Радовенчик, М. Д. Гомеля // Збірник наукових статей III-го Всеукраїнського з'їзду екологів з міжнародною участю "Екологія - 2011" (21-24 вересня 2011 р., м. Вінниця). - Вінниця, 2011. - С. 15-18.
6. Радовенчик, Я. В. Основні закономірності руху рідин в капілярних матеріалах / Я. В. Радовенчик, М. Д. Гомеля // Вісник Вінницького політехнічного інституту. - 2012. - №2. - С. 31 - 34.



## Abstract

Nowadays, the separation processes of solid and liquid phases are widely used in all industries. They differ by significant material and power losses. The application of the solid phase of materials with capillary properties in dehydration allows you to design simple, effective and low-cost equipment. Based on the new approach to the filtering process using materials with capillary properties, we developed its mathematical model and calculated the necessary mathematical dependences.

Since the accumulation of solid particles at the opening of capillaries is accompanied by intense decrease of filtering speed, the process model is based on conditions that prevent such accumulation. Based on the balance of forces effecting the solid particles in the form of a ball in a moving medium of fluid, we calculated the dependence of the liquid phase speed from the other process parameters. The dependence describes the conditions under which solid particles will hang in the fluid medium without falling on the working surface of the capillary filter. On the other hand, the speed of the liquid phase in the working volume of the filter is determined by the difference of liquid levels at its bottoms. The comparison of both dependencies for the speed of fluid allows us to connect the permissible speed of the liquid phase with external parameters that cause it. The results of the research could be used in various industries and community facilities, where there is a need to separate the solid and liquid phases. The dependences suggested allow you to calculate important parameters of filters with capillary material and to determine the parameters of their use to ensure continued efficient operation.

**Keywords:** dehydration, capillary, mathematical model, solid particles, phase separation

В даній статті розглянуто питання точного розв'язку двомірної задачі методом часткових областей про знаходження акустичного поля навколо шумозахисного екрану, що стоїть на акустично жорсткій поверхні, при цьому джерелом звуку є нескінченний за довжиною циліндр малих хвильових розмірів, який працює на нульовій моді

**Ключові слова:** шумозахисний екран, циліндричне джерело звуку, рівень звукового тиску, ефективність

В данной статье рассмотрен вопрос точного решения двумерной задачи методом частичных областей об определении акустического поля вокруг шумозащитного экрана, что стоит на акустически жесткой поверхности, при этом источником звука является бесконечный по длине цилиндр малых волновых размеров, работающий на нулевой моде

**Ключевые слова:** шумозащитный экран, цилиндрический источник звука, уровень звукового давления, эффективность

УДК 534.2

# ЗНИЖЕННЯ ШУМУ ШУМОЗАХИСНИМИ ЕКРАНАМИ

**В. П. Заєць**

Асистент

Кафедра акустики та акустoeлектроніки  
Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут»  
пр. Перемоги, 37, м. Київ, Україна, 03056  
Контактний тел.: 066-149-41-25

## 1. Вступ

Останнім часом в Україні все більше звертається увага на екологічну ситуацію навколишнього середовища. Одним з основних забруднюючих факторів є велика зашумленість міст та територій. Основними джерелами шуму, що негативно впливають на екологічну ситуацію, є транспортні потоки.

Добре відомі засоби зниження шуму транспортних потоків. В першу чергу це розташування зони з нормованими рівнями шуму якнайдалі від джерел шуму. З огляду на те, що транспортний потік можна вважати лінійним джерелом шуму, то при збільшенні відстані від джерела шуму в два рази рівень звукового тиску зменшується на 3 дБ. Іншим засобом зменшення шуму є створення зон зелених насаджень навколо тран-

спортних магістралей. Так, емпірично встановлено, що кожні 10 м ширини суцільної багатощарової зони зелених насаджень додатково знижують рівень шуму на 1-2 дБА [1].

Однак найбільш ефективним з точки зору акустичних та економічних показників є створення шумозахисних екранів – спеціальних суцільних стінок, що дозволяють знизити рівні звукового тиску від транспортного потоку, в деяких випадках, до 20 дБА [2].

В даній статті розглянуто аналітичний спосіб визначення зменшення рівнів звукового тиску при застосуванні шумозахисних екранів, а також детально розглянуто вплив конструктивних параметрів екранів на їх ефективність.